

Article

# Ausencia de Beneficios Adicionales del Entrenamiento Inrterváltico de Alta Intensidad Distribuido en Bloques en Comparación con Entrenamiento Distribuido Uniformemente dentro de un Microciclo Polarizado

Kerry McGawley<sup>1</sup>, Elisabeth Juudas<sup>2</sup>, Zuzanna Kazior<sup>1,2</sup>, Kristoffer Ström<sup>1,3</sup>, Eva Blomstrand<sup>2</sup>, Ola Hansson<sup>3</sup> y Hans-Christer Holmberg<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Health Sciences, Swedish Winter Sports Research Centre, Mid Sweden University, Östersund, Sweden

<sup>2</sup>Åstrand Laboratory, Swedish School of Sport and Health Sciences, Stockholm, Sweden

<sup>3</sup>Diabetes and Endocrinology, Department of Clinical Sciences, Lund University Diabetes Centre, Lund University, Malmö, Sweden

## RESUMEN

**Introducción:** El objetivo del presente estudio fue investigar las respuestas al entrenamiento interváltico de alta intensidad (HIT) distribuido en bloques versus los efectos de HIT distribuido de forma uniforme en un microciclo polarizado. **Métodos:** En el estudio aleatorizado y con diseño cruzado, participaron 20 esquiadores de fondo (10 varones, 17,6±1,5 años y 10 mujeres, 17,3±1,5 años) quienes realizaron dos períodos de entrenamiento de 3 semanas (EVEN y BLOCK). En el grupo EVEN, se realizaron 3 sesiones de HIT por semana (5 x 4-min de roller esquí con zancada diagonal) con una intensidad máxima sostenible, y se distribuyó uniformemente entrenamiento de baja intensidad (LIT) alrededor del HIT. En el grupo BLOCK, se realizaron las mismas 9 sesiones de HIT en la segunda semana, y en la primera y tercera semana se realizó solo LIT. Se registraron los valores de frecuencia cardiaca (FC), índice de esfuerzo percibido de la sesión (sRPE) y el índice de recuperación percibida / (pREC) en todas las sesiones de HIT y LIT, y además en cada intervalo de HIT se registró la distancia recorrida. Semanalmente se completó el cuestionario de recuperación frente al estrés específico para atletas (RESTQ-Sport). Antes y después de los entrenamientos EVEN y BLOCK, se recolectaron muestras de saliva y de músculo en reposo y se realizó un test incremental y una prueba contrarreloj de 600 m (TT). **Resultados:** Las mediciones realizadas antes y después de la intervención revelaron la ausencia de diferencias significativas entre EVEN y BLOCK en las variaciones de cortisol, testosterona o IgA salival en reposo, y tampoco se observaron cambios en la densidad capilar muscular, área de las fibras, composición de fibras, actividad enzimática (CS, HAD, y PFK) ni en el contenido de proteínas VEGF o PGC-1 $\alpha$ . Tampoco se observaron diferencias entre las intervenciones en los cambios en la economía del esquí, en el VO<sub>2</sub>max ni en el rendimiento en la prueba contrarreloj de 600 m. Estos hallazgos fueron acompañados por ausencia de diferencias significativas entre EVEN y BLOCK en la distancia recorrida durante el HIT, las puntuaciones totales de FC en

las zonas, carga total de entrenamiento sRPE, pREC total ni en el estado general de recuperación frente al estrés. Sin embargo, el rendimiento en la prueba TT de 600 m presentó una mejora pre a post entrenamiento, independientemente de la intervención ( $P = 0,003$ ), y una serie de marcadores hormonales y de biopsia muscular variaron significativamente después del entrenamiento ( $p < 0,05$ ). **Discusión:** El estudio actual demuestra que los esquiadores de fondo junior bien entrenados pueden realizar 9 sesiones del HIT en 1 semana sin comprometer el trabajo total realizado y sin experimentar un mayor estrés o una menor recuperación en un microciclo polarizado de 3 semanas. Sin embargo, los resultados no nos permiten sostener la idea de que el HIT con distribución en bloques sea un método superior al HIT con distribución más uniforme, en términos de mejorar las adaptaciones fisiológicas o de rendimiento.

**Palabras Clave:** esquí de fondo, resistencia, atletas junior, músculo, periodización, recuperación, estrés, carga de entrenamiento

## INTRODUCCIÓN

---

En la literatura científica se han discutido varias teorías relacionadas con la periodización del entrenamiento (es decir, la división del entrenamiento estacional de un atleta en unidades más pequeñas y períodos de tiempo más cortos) (véase Issurin, 2010 para una revisión exhaustiva). Sin embargo, estas teorías han sido criticadas por que carecen de evidencia respaldatoria (Kiely, 2012), lo que se debería, al menos en parte, a los retos logísticos asociados con la comparación de diferentes formas de entrenamiento dentro de los grupos de atletas. En un estudio donde se analizaron los efectos de dos modelos diferentes de periodización de entrenamiento utilizados durante dos temporadas por kayakistas de élite (García-Pallarés et al, 2010), el control científico riguroso fue limitado debido a la naturaleza aplicada y longitudinal del estudio. Los resultados de los estudios grupales se complican aún más por la variabilidad de las respuestas individuales frente a los programas de entrenamiento a largo plazo (Mann et al, 2014). Por otro lado, los estudios de casos sobre las estrategias eficaces de organización durante períodos estacionales (por ejemplo, Støren et al, 2012) tienen un sustento limitado para un uso general.

Estudios experimentales diseñados para investigar los efectos de diferentes modelos de organización del entrenamiento sobre las adaptaciones fisiológicas y de rendimiento normalmente se limitan a períodos de intervención cortos. Esto plantea la necesidad de potentes estímulos de entrenamiento, particularmente en lo que respecta a las poblaciones de atletas. Uno de estos métodos utilizados para desarrollar la potencia aeróbica y el rendimiento ha sido concentrar un gran número de sesiones de entrenamiento interválico de alta intensidad (por ejemplo, 5-15 sesiones) en un período corto de tiempo (por ejemplo, 6-14 días) (Stølen et al, 2005, Breil y otros, 2010, Wahl et al, 2013, 2014, Rønnestad et al, 2014b, 2016). Esta estrategia se ha denominado "entrenamiento en bloque" y se basa en el principio de sobrecarga, donde se produciría una super-compensación en ciertos componentes de la aptitud física después de un período de carga concentrada seguido por un corto período de recuperación (Issurin, 2010).

Aunque el HIT se considera necesario para obtener mejoras fisiológicas y de rendimiento entre los atletas con entrenamiento de resistencia (Laursen et al., 2002; Iaia et al., 2009; Buchheit and Laursen, 2013a,b; Gunnarsson et al., 2013.) el entrenamiento de baja intensidad (LIT) sigue siendo un componente fundamental de los programas de resistencia (Sandbakk y Holmberg, 2014). La combinación de estas dos formas opuestas de estímulos de entrenamiento, mientras se realiza una cantidad relativamente pequeña de entrenamiento de intensidad moderada (MIT), se denomina entrenamiento polarizado (Seiler y Kjerland, 2006; Laursen, 2010). Algunos estudios han sugerido que las distribuciones de entrenamiento más polarizadas son beneficiosas para el rendimiento de resistencia (Esteve-Lanao et al, 2007; Neal et al, 2012; Stöggl y Sperlich, 2014). Además, dos estudios recientes observaron mejoras en VO<sub>2</sub>max, en la producción de potencia máxima (MPO) y en la producción de potencia en concentraciones de lactato sanguíneo de 2-4mmol/L entre ciclistas y esquiadores de fondo después de un período de entrenamiento periodizado en bloques (es decir, una serie de sesiones de HIT concentradas seguidas por LIT), pero no observaron mejoras después de LIT y HIT organizados con una distribución más tradicional (uniforme) (Rønnestad et al, 2014b, 2016).

Por otra parte, además de estos resultados positivos asociados con el HIT en bloques, también se ha demostrado que la prescripción de períodos cortos de entrenamiento de alta intensidad de este tipo produce síntomas de sobreentrenamiento a corto plazo (OR). Por ejemplo, Halson et al. (2002) observaron que 2 semanas de HIT intensificado en el medio de un período de entrenamiento de 6 semanas provocaron OR entre ciclistas entrenados, y observaron disminuciones de MPO, frecuencia cardíaca máxima (FCmax), VO<sub>2</sub>max y rendimiento en ciclismo, además de un incremento en la alteración del estado de ánimo general. Además, Jürimäe et al. (2004) realizaron un estudio con remeros entrenados y observaron reducciones en la capacidad de rendimiento, en los niveles de testosterona en reposo y en la recuperación, así como también aumentos en los niveles de estrés, después de 6 días de entrenamiento de alta intensidad. Aunque generalmente

en los estudios de HIT en bloque no se han controlado los marcadores subjetivos relacionados al bienestar, estos hallazgos ponen de relieve la importancia de comprender las respuestas multidimensionales a las intervenciones de entrenamiento de alta intensidad, especialmente teniendo en cuenta la posibilidad de que el síndrome de sobreentrenamiento de corto plazo (OR) se vuelva crónico (Meeusen et al, 2013).

En la actualidad hay una falta de información sobre las respuestas fisiológicas, psicológicas y de rendimiento de los atletas junior que realizan HIT en bloque, lo que sería relevante para los entrenadores que trabajan en una variedad de deportes de resistencia. Por lo tanto, la presente investigación fue diseñada para comparar los efectos de dos intervenciones de entrenamiento polarizado en varones y mujeres que realizan esquí de fondo altamente entrenados. Nueve sesiones de HIT se concentraron en la mitad de un período de entrenamiento de 3 semanas en la intervención experimental (BLOCK), mientras que las mismas 9 sesiones de HIT se distribuyeron uniformemente durante el período de 3 semanas en la intervención control (EVEN). Los grupos realizaron la misma cantidad de entrenamiento de baja intensidad (LIT) y de entrenamiento de la fuerza suplementarios pero con una diferente organización de las sesiones. Se planteó la hipótesis de que el entrenamiento en el grupo BLOCK provocaría un aumento relativo mayor en el VO<sub>2</sub>max y en el rendimiento en prueba contrarreloj de 600 m que el que se observaría con el entrenamiento EVEN, a pesar de que durante las sesiones de HIT con la intervención BLOCK se recorrería una menor distancia y se alcanzaría una menor frecuencia cardíaca que con EVEN. Además es esperable que con el entrenamiento BLOCK se observe un mayor esfuerzo percibido, un mayor nivel de estrés y una menor recuperación percibida que con el entrenamiento EVEN.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Participantes

Veinte esquiadores de fondo bien entrenados (10 varones: 17,6±1,5 años, masa corporal 72,3±4,8 kg, VO<sub>2</sub>max 67,1±2,6 mL kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>, 10 mujeres: edad 17,3±1,5 años, masa corporal 61,1±7,5 kg, VO<sub>2</sub>max 54,2±4,0 mL kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>) fueron reclutados en dos escuelas de esquí suizas especializadas. Todos los participantes tenían por lo menos 6 años de experiencia en esquí de fondo y competían a nivel nacional, y ocho esquiadores eran además miembros de equipos juveniles nacionales. El volumen promedio de entrenamiento de resistencia era típicamente 500-750 h por año, o 9-14 h por semana y anualmente se realizaba un adicional de 60-80 h de entrenamiento de fuerza funcional. La frecuencia semanal de entrenamiento fue periodizada, con 4-5 sesiones de resistencia semanales (6-8 h) durante los períodos de bajo volumen y hasta 12 sesiones de resistencia (25 h) por semana durante períodos de alto volumen. Después de haber sido informados de los objetivos y los posibles riesgos del estudio, los participantes, y los padres de los participantes menores de 18 años, firmaron el consentimiento informado para participar. El estudio fue aprobado por la Junta Regional de Revisión Ética, Universidad de Umeå, Umeå, Suecia.

### Descripción general del estudio

El estudio se llevó a cabo al final de la temporada de esquí de fondo, de abril a junio. Se utilizó un diseño cruzado, en el cual un grupo de atletas (EVEN-BLOCK, 6 varones y 7 mujeres) realizaron 3 semanas de entrenamiento EVEN y luego 3 semanas de entrenamiento BLOCK, separados por una pausa de 4 días, y el otro grupo (BLOCK-EVEN; 4 varones y 3 mujeres) realizaron 3 semanas de entrenamiento BLOCK y luego 3 semanas de entrenamiento EVEN, también separadas por una pausa de 4 días (Tabla 1). Así, los 20 atletas realizaron ambas intervenciones de entrenamiento. El número de atletas en cada grupo no fue igual por razones logísticas debido a que todas las sesiones de HIT debían ser realizadas en la misma montaña. Se realizaron análisis de laboratorio antes y después de las dos intervenciones.

**Tabla 1.** Descripción general del diseño del estudio cruzado de 53 días que incluyó dos intervenciones de entrenamiento de 3 semanas (EVEN y BLOCK) flanqueadas por pruebas PRE y POST intervención.

Grupo	Día				
	1-3	4-24	25-28	29-49	50-53
EVEN-BLOCK (n=13)	Período de Prueba 1	3-semanas EVEN	Período de prueba 2	3-semanas BLOCK	Período de prueba 3
BLOCK-EVEN (n=7)		3-semanas BLOCK		3-semanas EVEN	

## Pruebas PRE y POST intervención

Todos los participantes asistieron al laboratorio una vez durante cada período de prueba con el fin de que se les extrajera una muestra de saliva en reposo y pudieran completar el cuestionario de recuperación de 76 preguntas para atletas (RESTQ-Sport), además debían realizar los test incrementales sub-máximos y máximos y una prueba contrarreloj de 600 m TT (Figura 1). Los participantes estaban familiarizados con los protocolos sub-máximos y máximos, porque los habían utilizado rutinariamente como parte de sus pruebas estacionales. El protocolo específico de la TT de 600 m fue nuevo para todos los participantes, por lo que se incluyó un test de familiarización en el conjunto de tests. Los participantes arribaron al laboratorio descansados y habiendo consumido previamente un desayuno estandarizado. Los tests incrementales sub-máximos y máximos, y el test de familiarización con con la TT de 600 m, se realizaron durante la mañana previa, y la TT de 600 m se realizó después de un almuerzo estandarizado. Además del día de evaluación principal, en un día diferente se realizaron biopsias musculares durante cada período de prueba a un subgrupo de 11 atletas de 18 años o mayores (6 varones: edad  $18,7 \pm 0,8$  años, 5 mujeres: edad  $18,6 \pm 0,9$  años).



**Figura 1.** Esquema de las pruebas de laboratorio realizadas antes y después de las intervenciones de entrenamiento. Cuestionario de recuperación frente al estrés RESTQ-Sport: con 76 preguntas para atletas; Sub-max + Max: Test incrementales sub-máximo y máximo; TT famil: Prueba contrarreloj de 400 m de familiarización con la prueba contrarreloj de 600 m (TT).

## Muestras de Saliva

Las muestras de saliva en reposo fueron obtenidas por el método de babeo pasivo (Beaven et al, 2008) al momento de arribar al laboratorio, entre las 08:00-08:30 durante cada período de prueba. Los participantes solamente consumieron agua durante la hora previa a la recolección (Sperlich et al, 2012). Las muestras se recogieron en tubos estériles y se almacenaron a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis. Después de descongelar y centrifugar a 2.000 rpm durante 10 min, se analizaron las muestras por duplicado y se determinaron las concentraciones medias de cortisol, testosterona e inmunoglobulina A (IgA) usando kits comerciales de ELISA (Salimetrics LLC, Pennsylvania, EE.UU.), siguiendo la metodología descrita en Beaven et al. (2008).

## RESTQ-Sport

El cuestionario RESTQ-Sport se completó al llegar al laboratorio después de realizar el muestreo de saliva. El cuestionario consta de 12 escalas generales y 7 escalas adicionales específicas del deporte, con 4 preguntas por escala, y evalúa el equilibrio entre la recuperación percibida y el estrés (Kellmann y Kallus, 2001). El puntaje de estrés total es equivalente a la suma de las puntuaciones de todas las subescalas de estrés (7 generales más 3 específicas del deporte), mientras que el puntaje de recuperación total representa la suma de las puntuaciones de todas las subescalas de recuperación (5 generales más 4 específicas del deporte). Un indicador general de la recuperación de estrés se calculó restando el puntaje total de estrés a la recuperación total (Kellmann y Kallus, 2001).

## Tests sub-máximos y tests incrementales máximos

Después la medición de la talla y la masa corporal (Seca 764, Hamburgo, Alemania), se realizaron los tests incrementales sub-máximos y máximos en una cinta rodante con motor (Rodby RL 3000, Rodby, Vänge, Suecia) siguiendo los procedimientos previamente descritos por McGawley y Holmberg (2014). Brevemente, se utilizó la técnica roller esquí con zancada diagonal y el mismo par de esquís con ruedas pre-calentadas (*Pro-Ski Classic C2, Sterners, Dala-Järna, Suecia*). El test submáximo se realizó con una pendiente de 7° e incluyó una entrada en calor de 4 minutos seguida por cuatro etapas continuas de 4 min. Las velocidades fueron diferentes para los individuos dependiendo de la edad, sexo y capacidad de esquí, y la entrada en calor y la primera etapa se realizaron 5,2-7,0 km/h con aumentos de 0,8 o 1,0 km/h por etapa hasta alcanzar velocidades finales de 7,6-10,0 km/h. Al final del test sub-máximo se realizó una pausa de 1 minuto antes de que los participantes comenzaran el test máximo. Dependiendo de la edad, sexo y habilidad, la velocidad inicial para el test máximo fue de 10, 11, o 12 km/h y la pendiente inicial fue de 3° o 4°. Luego la pendiente se incrementó 1° cada minuto, hasta alcanzar un máximo de 9°, después de lo cual la velocidad aumentó 0,4 km/h cada minuto. El test finalizó en el momento en que los participantes no podían continuar. Las variables respiratorias se midieron utilizando un procedimiento de aire expirado mixto con un sistema ergospirométrico (*modelo AMIS 2001 C, Innovision A / S, Odense, Dinamarca*) equipado con un medidor de flujo. Los analizadores de gases se calibraron con una mezcla de alta precisión de 16,0% de O<sub>2</sub> y 4,0% de CO<sub>2</sub> (*Air Liquide, Kungsängen, Suecia*) y el caudalímetro se calibró en tres velocidades con una jeringa de aire de 3 litros (*Hans Rudolph, Kansas City, ESTADOS UNIDOS*). Los valores de VO<sub>2</sub> se calcularon a partir de períodos de 10 s y la economía del esquí se expresó como el valor estacionario durante 1 minuto medido durante el minuto final de la segunda etapa sub-máxima, mientras que VO<sub>2</sub>max se expresó como el mayor promedio registrado durante tres muestras consecutivas de 10- s (es decir, un promedio de deslizamiento).

## Prueba contrarreloj de 600 metros

En la misma mañana en que se realizaron los tests sub-máximos y máximos incrementales, después de al menos 1 h de reposo, se realizó un test de familiarización con la prueba TT de 600 m, que se limitó a 400 m para minimizar cualquier impacto de la fatiga. La TT de 600 m se realizó posteriormente durante la tarde, después de un almuerzo estandarizado y al menos 2 horas de reposo, nuevamente siguiendo la metodología descrita por McGawley y Holmberg (2014). Después de una entrada en calor de 15 minutos se inició el protocolo de evaluación con 100 m a una velocidad fija (8,8 km h<sup>-1</sup> para las mujeres y 10,8 km h<sup>-1</sup> para los varones) para evitar el sobre-ritmo, y los siguientes 500 m continuaron a un ritmo auto seleccionado. La pendiente de la cinta rodante se fijó a 7° y se utilizó la técnica de la zancada diagonal. Se utilizó la misma cinta rodante motorizada que la descrita en la sección de Tests Incrementales Sub-máximos y Máximos, equipada con láseres que aumentaban o disminuían automáticamente la velocidad si el atleta se desplazaba hacia la parte delantera o trasera de la correa, respectivamente, y mantenían una velocidad constante si el sujeto no se movía (Swarén et al, 2013). Se recolectó el aire expirado durante todo el test utilizando los procedimientos descriptos previamente.

## Biopsias musculares

Las biopsias musculares fueron obtenidas del vasto lateral en reposo 1-3 días antes del día de prueba principal durante cada uno de los tres períodos de prueba (ver Tabla 1). Después de 10 min de reposo en posición supina se anestesió la piel por encima de la porción media del vasto lateral con lidocaína al 2% (*B. Braun Medical, Danderyd, Suecia*) y se tomaron biopsias usando la técnica de succión con aguja (Bergström, 1962; Hennessey., 1997). El tejido obtenido se limpió rápidamente de sangre y grasa y se dividió en tres partes. Una porción fue colocada en un medio de fijación (*Tissue Tek® O.C.T. Compound*) para la posterior realización de los análisis histoquímicos y se congeló inmediatamente en isopentano que se enfrió hasta su punto de congelación en nitrógeno líquido. Las otras dos partes se congelaron inmediatamente en nitrógeno líquido para los análisis subsiguientes de enzimas y contenido de proteínas. Las muestras se almacenaron a -80 °C hasta su análisis. Para el análisis histoquímico, se cortaron secciones transversales en serie de 10 µm en un criostato a -20 °C. Luego de una incubación a pH 4,3, 4,6 y 10,3, las secciones se tiñeron para determinar la ATPasa miofibrilar a pH 9,4 y las fibras musculares se clasificaron como tipo I, HA, IIB o IIC (Brooke y Kaiser, 1969). Para visualizar los capilares, las secciones transversales fueron teñidas siguiendo el procedimiento de amilasa-PAS (Andersen, 1975). Se realizó un análisis de imágenes por computadora (*Leica QWin Runner V 3.5.1, Leica Microsystems, Bromma, Suecia*) para evaluar la densidad capilar, la composición de fibras y las áreas de las fibras, tal como se describe en Kazior et al. (2016). Se determinaron las actividades enzimáticas máximas de citrato sintasa (CS), 3-hidroxiacil-CoA-deshidrogenasa (HAD) y fosfofructoquinasa (PFK) siguiendo la metodología descrita por Opie y Newsholme (1967), Essén et al. (1975), Alp et al. (1976), respectivamente. El contenido de proteínas de VEGF y PGC-1α se midió con la técnica de Western Blot. Brevemente, se homogeneizaron 20 mg de tejido en 250 µl de buffer RIPA (Sigma) usando un homogeneizador de vidrio/teflón. Después de la centrifugación a 13000 g, se estimó la concentración total de proteínas en el sobrenadante con el kit de ensayo de proteínas *Pierce™ BCA (Thermo Fisher Scientific)*. Las proteínas (25 µg) fueron separadas mediante SDS-PAGE (*NuPAGE® Bis-Tris Precast Gels, 4-12%*), posteriormente se realizó la transferencia a membranas de nitrocelulosa y finalmente se realizó la detección mediante un sustrato quimioluminiscente *SuperSignalWestPico (Thermo Fisher Scientific)*. Los anticuerpos utilizados fueron mAb anti-PGC-1α de ratón (4C1.3) (ST1202) y mAb de ratón anti-VEGF

(Ab-3) (14-124) (GF25) (Merck Millipore). Los resultados se presentan como índice de expresión de VEGF o PGC-1 $\alpha$  en función de un control de carga, beta Actin (ab8227) (Abcam), asegurando una carga similar en el gel (Rúas et al, 2012; Andrzejewski et al, 2015). Además, se ajustó la variación entre los geles usando un estándar interno.

## ENTRENAMIENTO

### Intervenciones EVEN y BLOCK

Las dos intervenciones de entrenamiento de 3 semanas se desarrollaron en estrecha cooperación con los entrenadores de los atletas participantes. La intervención EVEN simuló un ciclo de entrenamiento polarizado típico de 3 semanas, mientras que BLOCK consistió en realizar solamente LIT 1 semana, antes y después de una semana donde se realizó solo HIT de alta intensidad. Las intervenciones EVEN y BLOCK tuvieron la misma carga de trabajo e incluyeron 7 y 9 sesiones LIT, respectivamente (con el mismo tiempo total de entrenamiento), y 9 sesiones HIT y 6 sesiones de entrenamiento funcional para la fuerza (Tabla 2).

**Tabla 2.** Cantidad y distribución de las sesiones de entrenamiento de baja intensidad (LIT), entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT) y entrenamiento funcional de fuerza (STR) durante tres semanas de entrenamiento con distribución uniforme (EVEN) y entrenamiento en bloques (BLOCK)

	EVEN			BLOCK		
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 1	Semana 2	Semana 3
LIT	2	3	2	4	0	5
HIT	3	3	3	0	9	0
STR	2	2	2	3	0	3

La duración de las sesiones de LIT varió de  $58 \pm 4$  a  $127 \pm 11$  min (sesiones de ~ 60, 90, 105 o 120 min) y se completaron en aprox. 60-80% de FC<sub>max</sub> ya sea esquiando (aprox. 60% de todas las sesiones, esquí sobre ruedas o esquí sobre nieve dependiendo de las condiciones meteorológicas), corriendo (aprox. 35% de todas las sesiones) o pedaleando (~ 5% de todas las sesiones). La distribución de las diferentes actividades de LIT fue similar entre las dos intervenciones. Las sesiones de HIT se estandarizaron en 75 minutos y consistieron en una entrada en calor, 5 intervalos de 4 minutos (5 x 4) separados por 6 minutos de recuperación activa y luego una vuelta a la calma. Los intervalos se realizaron utilizando la técnica de esquí de fondo con zancada diagonal y cada individuo utilizó el mismo par de roller-esquí durante todo el estudio. El objetivo fue recorrer la mayor distancia posible, en la medida de lo posible, en los cinco intervalos de cada sesión. La distancia recorrida se midió con precisión en metros en todos los atletas durante cada intervalo en todas las sesiones de HIT. Todos los intervalos se completaron con la misma pendiente asfaltada hacia arriba (~ 12% / 7 °) y la recuperación activa consistió en una carrera de descenso hacia el punto de inicio de la carrera. Si surgía algún problema con los roller-esquí los participantes debían completar la sesión corriendo en la misma pendiente ascendente con bastones (la distancia recorrida no se analizó en los intervalos de carrera). Todas las sesiones de HIT se realizaron en grupos de 6-8 atletas supervisados por al menos dos investigadores y un entrenador. Antes de cada sesión de HIT se realizó una entrada en calor estandarizado de 20 minutos, que incluía un intervalo de ascenso de 2 minutos a la colina de entrenamiento, y luego una vuelta a la calma de 15 minutos. Las 9 sesiones de HIT realizadas en la semana 2 del entrenamiento BLOCK se organizaron de tal manera que se realizaran 2 sesiones los días 1, 2 y 5 (separados por al menos 5 horas de descanso y una comida), y una sesión los días 3, 6 y 7, dejando el día 4 como día de descanso. Las sesiones de entrenamiento de fuerza que se realizaron durante el estudio incluyeron ejercicios funcionales y complejos, y fueron supervisadas como parte del programa de entrenamiento regular de los atletas.

### Cargas de entrenamiento

En todas las sesiones de entrenamiento LIT y HIT se midió la frecuencia cardíaca (*Polar RS800CX*, *Polar Electro Oy*, *Kempele, Finlandia*) y los datos se analizaron posteriormente para determinar la FC<sub>promedio</sub> (FC<sub>av</sub>), FC<sub>max</sub>, duración de la sesión y tiempo empleado en cada zonas de FC. Se utilizó el método de zonas de FC (sFCZ) para cuantificar la carga de entrenamiento basada en FC en cada sesión en el cual se delimitaron las siguientes cinco zonas de FC: 1 = 50-60% de

FCmax, 2 = 60-70% de FCmax, 3 = 70-80% de FCmax, 4 = 80-90% de FCmax y 5 = 90-100% de FCmax (Edwards, 1993; Foster et al, 2001). El tiempo transcurrido acumulado en cada zona (en min) se multiplicó por el valor de la zona (es decir, 1-5) para obtener una carga total de entrenamiento de sFCZ. La segunda metodología empleada para cuantificar la carga de entrenamiento consistió en utilizar una modificación de la escala de categorización de 0-10 (CR-10) presentada originalmente por Borg (1982). Según lo descrito por Foster et al. (2001), dentro de los 30 minutos después de cada sesión de entrenamiento los participantes respondieron la simple pregunta "¿Cómo fue tu entrenamiento?" utilizando una escala de 10 puntos, donde 0 y 10 correspondían a "descanso" y "máximo", respectivamente. El texto de la escala fue presentado a los atletas en inglés y sueco. La carga de entrenamiento del índice de esfuerzo percibido de la sesión (sRPE) fue calculada multiplicando la calificación 0-10 por la duración total de la sesión (en min) y expresada en unidades arbitrarias (Foster et al, 2001). Se calcularon las puntuaciones totales de carga de entrenamiento sRPE para cada individuo sumando las cargas de entrenamiento sRPE de todas las sesiones LIT y HIT en los entrenamientos EVEN y BLOCK.

### Medidas de recuperación y de estrés

Después de la entrada en calor realizada antes de todas las sesiones de entrenamiento LIT y HIT, los participantes calificaron su recuperación percibida (pREC) con una escala de 0 a 10, donde 0 y 10 correspondían a "muy poco recuperados/muy cansados" y "muy bien recuperados/con mucha energía", respectivamente (Laurent et al, 2011). El cuestionario RESTQ-Sport fue respondido semanalmente en el día de descanso antes de comenzar cada semana de entrenamiento en un momento estandarizado del día.

### Análisis de los datos

Para los análisis estadísticos se utilizó el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS, Versión 22). Los datos de los intervalos y de índices se expresan en forma de media  $\pm$  desviación estándar, mientras que los datos ordinales (sRPE, pREC y RESTQ-Sport) se expresan como mediana [rango]. Para comparar las respuestas a HIT versus LIT y EVEN versus BLOCK se utilizó el Test *t* de muestras apareadas, y para comparar las respuestas entre varones y mujeres se utilizó el Test *t* de muestras desapareadas. Se utilizó el ANOVA de medidas repetidas de dos vías para identificar los efectos de la intervención (EVEN vs. BLOCK), tiempo (antes y después del entrenamiento) y la interacción. Además se analizó la magnitud del efecto de entrenamiento EVEN versus BLOCK mediante la determinación del tamaño de efecto (ES), donde diferencias  $<0,2$ ,  $<0,6$ ,  $<1,2$  y  $<2,0$  fueron establecidas como triviales, pequeñas, moderadas y grandes, respectivamente (Hopkins et al, 2009). Para comparar los datos de los intervalos y los índices, se utilizó el ANOVA de dos vías, y posteriormente se aplicó el Test *post hoc* de Tukey para identificar los efectos de interacción y las diferencias entre las intervenciones (EVEN vs. BLOCK), las semanas de entrenamiento y las zonas de FC. Con respecto a los datos ordinales, se utilizó el Test de Friedman para comparar semanas dentro de cada intervención y el Test de Wilcoxon de rangos signados para comparar las respuestas apareadas HIT versus LIT y EVEN vs BLOCK, y el test de Mann-Whitney para comparar las respuestas entre varones y mujeres. El nivel de significación estadística se estableció en  $P < 0,05$ .

## RESULTADOS

### Cambios observados entre las mediciones realizadas antes (Pre) y las realizadas después (Post) del entrenamiento.

En la Tabla 3 se muestran los efectos antes (Pre) y después (Post) de los entrenamientos EVEN y BLOCK. No se observaron efectos de interacción entre intervención y tiempo en ninguna de las variables de rendimiento, de saliva o de biopsias musculares, tal como lo demuestran los datos de cambio ( $\Delta$ ) ( $P > 0,05$ ). Tampoco se observaron efectos significativos de la intervención (grupo) ( $P > 0,05$ ). Sin embargo, se observaron efectos significativos del tiempo (i.e. pre vs post entrenamiento), independientemente del grupo, en el rendimiento de TT de 600 m, concentración de testosterona en reposo, relación testosterona:cortisol, área media de las fibras musculares, actividad de HAD y de PFK y contenido de proteína PGC- 1 $\alpha$ .

**Tabla 3.** Valores de Media  $\pm$ SD Pre vs Post y del cambio ( $\Delta$ ) luego de tres semanas de entrenamiento con distribución uniforme (EVEN) o con distribución en bloques (BLOCK). CS= Citrato sintasa; HAD= 3-hidroxiacilCoA deshidrogenasa; PFK= Fosfofructoquinasa; AU= Unidades arbitrarias; T= Efecto significativo del tiempo (pre vs post entrenamiento), independientemente de la intervención ( $P < 0,05$ ); \*presenta diferencias significativas con el valor Pre entrenamiento ( $P < 0,05$ ).



	EVEN			BLOCK			Δ	
	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	P-valor	ES
n=20								
Economía de esquí (O <sub>2</sub> L min <sup>-1</sup> )	2,83±0,57	2,78±0,57*	-0,06±0,10	2,77±0,58	2,79±0,58	0,02±0,16	0,117	0,79
VO <sub>2max</sub> (mL kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	60,3±7,2	61,2±7,9	0,9±2,6	61,4±8,1	60,6±8,2	-0,8± 2,4	0,071	0,67
TT de 600-m (s) <sup>†</sup>	187±23	183±25*	-3±5	185±23	184±22	-1±6	0,280	0,44
Cortisol en reposo (μg/dL)	0,45 ± 0,21	0,54±0,30	0,09±0,21	0,53±0,32	0,48±0,19	-0,05±0,30	0,208	0,59
Testosterona en reposo(pg/mL) <sup>†</sup>	108±75	96±45	-12±51	108±53	86±39	-20± 41	0,592	0,15
Testosterona: cortisol en reposo <sup>†</sup>	264±203	216±157	-48±94	257±190	218±170	-39±139	0,817	0,18
IgA reposo (μg/mL)	36±34	76±83	40±96	72±83	45±43	-26±69	0,081	0,68
n = 11								
Densidad capilar (por mm <sup>2</sup> )	377±31	379±44	3±34	385±42	365±36	-20±39	0,253	0,66
Área media de las fibras (μm <sup>2</sup> ) <sup>†</sup>	4594±761	4661±764	68±522	4596±776	4968±1000	372±655	0,379	0,11
Tipo I (%)	66,2±7,5	69,1±6,7	2,9±6,5	67,5±6,5	67,2±8,3	-0,3±7,4	0,203	0,50
Tipo IIA (%)	25,2±6,4	22,7±5,6	-2,5±4,8	24,1±5,0	21,9±7,9	-2,2±8,3	0,904	0,07
Tipo IIB (%)	7,2± 4,1	7,2±3,8	0,0±3,2	7,5±4,4	9,4±5,9	1,9±3,9	0,177	0,60
Tipo IIC (%)	1,4±1,9	1,0±2,4	-0,4±3,4	1,0±2,4	1,5±2,6	0,5±3,9	0,680	0,27
Actividad CS (μmol/min/g)	23,2±2,9	22,5±2,9	-0,7±2,5	23,6±2,7	22,5±1,7	-1,1±2,1	0,743	0,15
Actividad HAD (μmol/min/g) <sup>†</sup>	7,4±1,0	7,4±1,1	0,0±1,1	7,6±1,1	6,9±0,9*	-0,7±1,0	0,317	0,60
Actividad PFK (μmol/min/g) <sup>†</sup>	21,7±2,9	20,7±2,1	-1,0±2,3	20,8±2,1	20,1±2,4	-0,7±1,9	0,753	0,14
Contenido de proteína VEGF (AU)	20,0±9,3	15,4±10,7	-4,7±15,2	16,5±10,9	19,9±15,5	3,5±12,4	0,235	0,53
Contenido de proteína PGC-1α (AU) <sup>†</sup>	0,07±0,02	0,09±0,02*	0,02±0,02	0,08±0,01	0,11±0,04*	0,03±0,04	0,862	0,11

## Adherencia al entrenamiento

En total, los atletas completaron 97±6% (rango: 90-100%) de las sesiones de HIT en EVEN y todas (es decir, 100 ±0%) las sesiones HIT en BLOCK y 91 y 99% de estas sesiones, respectivamente, se realizaron en esquís sobre rueda con zancada diagonal. En los entrenamientos EVEN y BLOCK se completó una cantidad total de sesiones de LIT de 95±4% (rango: 90-100%) y 98 ± 4% (rango: 90-100%), respectivamente.

## Respuestas al entrenamiento: LIT vs. HIT

En la Tabla 4 se presenta una descripción de las respuestas de FC y sRPE durante los entrenamientos LIT y HIT en los grupos EVEN y BLOCK combinados (es decir, independientemente del tipo de intervención), en todos los participantes y para varones y mujeres por separado.

**Tabla 4.** Valores de frecuencia cardíaca media (FCav), frecuencia cardíaca máxima (FCmax, % del tiempo total de entrenamiento transcurrido en las zonas 1-5 (Z1-Z5) y puntuaciones totales de frecuencia cardíaca en zona (sFCZ) expresado en forma de Media±SD, y valores del índice percibido de la sesión (sRPE) expresados en forma de mediana [rango] durante el entrenamiento de baja intensidad (LIT) y el entrenamiento de alta intensidad (HIT). Presenta diferencias con LIT: \*P <0,05, \*\*P<0,001. Presenta diferencias significativas con los varones: †P<0,05, ††P< 0,01.



			Todos los participantes	Varones	Mujeres
FCav (lat/min)		LIT	133±9	130±7	136±10
		HIT	153±8**	152±7**	155±9**
FCmax (lat/min)		LIT	159±8	156±3	161±10
		HIT	191±6**	191±6**	192±7**
% del tiempo total de entrenamiento transcurrido en cada zona	Z1	LIT	21±15	25±15	16±15
		HIT	11±5**	11±6*	10±5
	Z2	LIT	48±13	56±13	40±7††
		HIT	26±8**	30±6**	21±8†
	Z3	LIT	29±18	18±10	40±18††
		HIT	25±7	22±8	27±6*
	Z4	LIT	2±3	1±1	4±3††
		HIT	19±4**	19±4**	19±5**
	Z5	LIT	0±0	0±0	0±0
		HIT	20±8**	17±6**	23±8**
Puntaje total sFCZ		LIT	3196±509	2896±280	3496±517††
		HIT	4227±377**	4069±303**	4385±390**
Puntaje total sRPE		LIT	5440 [3735-6983]	4230 [3735-6489]	6186 [3989-6983] †
		HIT	10463 [9225-11592]**	10200[9225-11550]*	10725[9488-11592]*

## RESPUESTAS AL ENTRENAMIENTO: EVEN VS BLOCK

### Tiempo de entrenamiento LIT

La duración del entrenamiento LIT en las tres semanas por separado fue diferente entre EVEN y BLOCK (Tabla 5), pero el tiempo total dedicado a la realización de LIT no presentó diferencias entre las dos intervenciones (742±33 y 754 ± 28min para EVEN y BLOCK, respectivamente; P = 0,218).

**Tabla 5.** Duración semanal media (min) del entrenamiento de baja intensidad durante las tres semanas de intervención de entrenamiento con distribución uniforme (EVEN) y entrenamiento con distribución en bloques (BLOCK). Los datos se presentan en forma de Media±SD. Presenta diferencias significativas con EVEN: \*P <0,001.

	Semana 1	Semana 2	Semana 3
EVEN	231±29	272±5	239±11
BLOCK	319±9*	0±0*	435 ±26*

### Rendimiento durante HIT

Las distancias medias recorridas durante cada uno de los intervalos de 5 × 4 min fueron similares en EVEN y BLOCK y se presentan en Tabla 6 para todos los participantes y en varones y mujeres por separado.

**Tabla 6.** Distancia recorrida promedio (m) en los intervalos de 4 min de alta intensidad durante las tres semanas de intervención de entrenamiento con distribución uniforme (EVEN) y entrenamiento con distribución en bloques (BLOCK). Los datos se presentan en forma de Media±SD. Presenta diferencias significativas con EVEN: \*P <0,001.

	Todos los participantes	Varones	Mujeres
EVEN	740±71	795±38	675±35*
BLOCK	736±75	792±46	671±43*

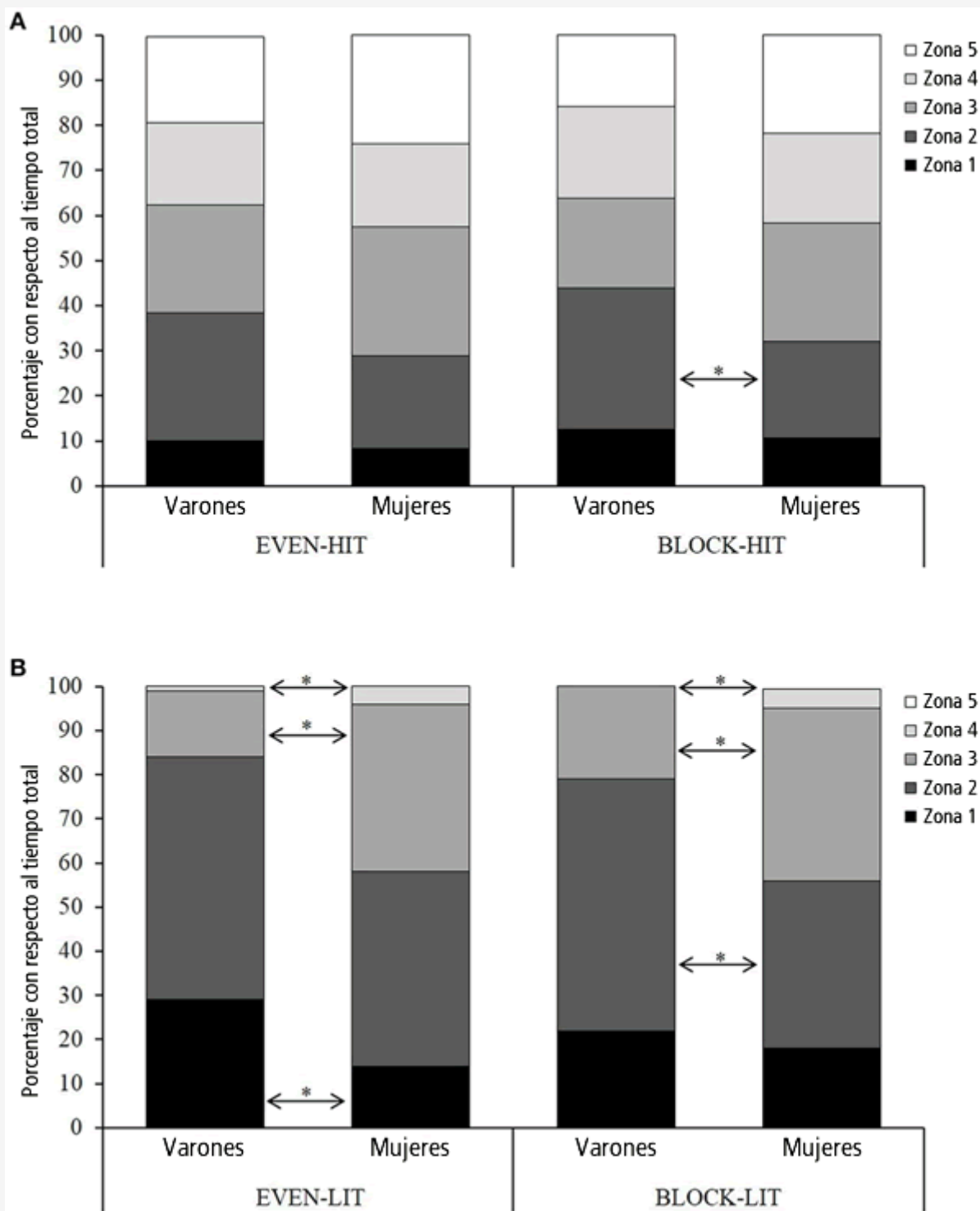
### Zonas de frecuencia cardiaca

El % de tiempo total transcurrido en cada una de las cinco zonas de FC durante HIT y LIT en EVEN y BLOCK en varones y mujeres se presenta en la Figura 2. En general, no se observaron diferencias entre las intervenciones en la proporción de tiempo de entrenamiento en cada una de las zonas de FC (~ 16, 37, 27, 10 y 10% del tiempo total en las zonas 1-5, respectivamente, para ambas intervenciones). Por otra parte, no se observaron diferencias significativas en el puntaje total de sFCZ entre EVEN y BLOCK (3739±440 y 3684±449, respectivamente; P =0,329). Sin embargo, en comparación con los varones las mujeres presentaron una puntuación total sFCZ significativamente mayor durante EVEN (4012±392 y 3466±298, respectivamente, P=0,003) y una tendencia no significativa para la misma diferencia en BLOCK (3869±520 y 3498±281, respectivamente, P = 0,067).

### Índice de esfuerzo percibido y de recuperación percibida

La mediana [rango] de los valores de sRPE y pREC durante cada una de las semanas de entrenamiento por separado para EVEN y BLOCK se presentan en la Tabla 7. Las cargas totales de entrenamiento de sRPE no fueron significativamente diferentes en EVEN y BLOCK (7751 [5758-9462] y 8127 [6338-10085], respectivamente; P=0,286). Sin embargo, en las mujeres se observó una carga de entrenamiento sRPE total significativamente mayor durante EVEN en comparación con la de los varones (8076 [6140-9462] y 7530 [5,758- 8155], respectivamente; P=0,031) y una tendencia no significativa para la misma diferencia durante BLOCK (8423 [7 337- 8948] y 7740 [6338-10085], respectivamente; P = 0,190).

La recuperación percibida (pREC) antes de cada una de las sesiones de HIT fue significativamente mejor en EVEN en comparación con BLOCK para todos los participantes (6 [3-10] vs 4 [1-8], respectivamente, P <0,001), y también en los varones (6 [3-10] vs 4 [1-8], respectivamente, P <0,001) y mujeres (6 [3-8] vs 4 [1-8], respectivamente, P <0,001) por separado.



**Figura 2.** Porcentaje del tiempo total transcurrido en las cinco diferentes zonas de frecuencia cardíaca de los varones y mujeres esquiadores durante las sesiones de HIT (A) y de LIT (B) en las intervenciones de entrenamiento distribuidas uniformemente (EVEN) y en bloques (BLOCK). Se observan diferencias significativas entre varones y mujeres: \*  $P < 0,05$ .

**Tabla 7.** Valores de índice de esfuerzo percibido en la sesión (sRPE) y de la recuperación percibida (pREC) en las semanas de entrenamiento con distribución uniforme (EVEN) o de distribución en bloques (BLOCK): Los valores se presentan en forma de Mediana [rango].

		sRPE			pREC		
		Todos	Varones	Mujeres	Todos	Varones	Mujeres
EVEN	Semana 1	7 [1-10]**	7 [1 -9]**	7 [2-10]**	6 [3-9]	6 [4-9]	6 [3-8]
	Semana2	6 [1 -9]**	4 [1 -9]**	7 [2-9]**	6 [3-10]**	7 [3-10]**	6 [3-8]**
	Semana 3	6 [2-10]**	5 [2-10]**	6 [3-10]**	5 [3-8]**t	6 [3-8] ^	5 [3-8]**t
	Todas las semanas	6 [1-10]	5 [1-10]	6 [2-10]	6 [3-10]	6 [3-10]	6 [3-8]
BLOCK	Semana 1	3 [2-6]1"f	3 [2-5]1"f	3 [2-6]1"f	6 [3-9]1"f	7 [5-9]1"f	6 [3-9]1"f
	Semana 2	8 [2-10]	8 [2-10]	8 [4-10]	4 [1 -8]	4 [1 -8]	4 [1 -8]
	Semana 3	4 [2-7]1"f	3 [2-6]1"f	4 [2-7]1"f	7 [3-9]1"f	7 [3-9]1"f	7 [4-8] tt
	Todas las semanas	6 [2-10]	5 [2-10]	7 [2-10]	5 [1 -9]	6 [1 -9]	5 [1 -9]

El sRPE se determine utilizando una escala modificada CR-10 donde 0 and 10 corresponden a descanso y máximo respectivamente. La pREC, se determine con una escala de 0 and 10 donde 0 corresponde a una recuperación muy pobre/extremadamente cansados y 10 corresponde a una recuperación muy buena/con mucha energía disponible, respectivamente. Presenta diferencias significativas con la correspondiente semana de BLOCK: \*\*P < 0,001. Presenta diferencias significativas con respecto a la semana 2: †P < 0,01, ††P < 0,001.

### Estado de recuperación del estrés

El estado global de recuperación del estrés (medido por el RESTQSport) no fue significativamente diferente entre los grupos EVEN y BLOCK (P=0,510), pero fue significativamente menor (indicando un menor estado de recuperación/mayor estrés) después de la segunda semana en BLOCK en comparación con EVEN (14 [1-28] vs. 18 [5-35], respectivamente; P=0,033). Además, en comparación con los varones, las mujeres presentaron una recuperación del estado de estrés significativamente menor durante BLOCK después de la segunda semana (11 [1-20] vs. 21 [13-28], P < 0,001) y de la tercera semana (15 [0-23] frente a 22 [11-30], P = 0,014).

## DISCUSIÓN

Esta investigación demostró que un período de entrenamiento polarizado de 3 semanas que incorpora una distribución en bloques de HIT fue bien tolerado por un grupo de varones y mujeres que realizaban esquí de fondo. En contraste con lo planteado en la hipótesis, la distancia recorrida durante el HIT no fue menor en la intervención BLOCK que en la intervención EVEN. Además, a pesar de las diferencias semanales, las puntuaciones totales de sFCZ, el tiempo en cada una de las zonas de FC, las puntuaciones de esfuerzo percibido y de cargas de entrenamiento, la recuperación percibida y el estado de recuperación general del estrés no fueron significativamente diferentes después de BLOCK en comparación con EVEN.

En lo que respecta a las mediciones pre y post entrenamiento, no se observaron diferencias entre los cambios en ninguno de los parámetros fisiológicos o de rendimiento medidos después de las dos intervenciones (Tabla 3). Sin embargo se observó un efecto significativo del tiempo en el rendimiento de la prueba contrarreloj de 600 m y de varios marcadores vinculados a las hormonas y a las biopsias musculares, independientemente de la intervención. Sobre la base de estos hallazgos, el presente estudio no apoya la idea que el HIT organizado en boques pueda ser un método superior al HIT con distribución uniforme en lo que respecta a mejorar las adaptaciones fisiológicas o de rendimiento.

El entrenamiento en bloques se basa en la teoría de que un período de carga altamente concentrada y especializada generará un incremento en el estímulo de entrenamiento, de forma tal que tras un período de recuperación, la capacidad de trabajo y el rendimiento aumentarán debido a la supercompensación (Issurin, 2008, 2010). Al mismo tiempo, se ha demostrado que el HIT aeróbico maximiza el tiempo de ejercicio cerca de VO<sub>2</sub>max, el cual es considerado el estímulo más efectivo para el desarrollo de los sistemas de transporte y utilización de oxígeno (Billat, 2001; Midgley et al., 2006). Varios estudios han combinado los conceptos de entrenamiento en bloque y HIT, y han observado mejoras positivas en VO<sub>2</sub>max, MPO, producción de potencia submáxima y rendimiento en TT en atletas entrenados después de 13-15 sesiones de HIT realizados en 10-14 días (Stølen et al. et al., 2005, Breil et al., 2010, Wahl et al., 2013). Aunque estos estudios destacaron los beneficios potenciales del HIT en bloques, no compararon diferentes tipos de organización de entrenamiento. Por lo tanto, los efectos observados podrían deberse simplemente al estímulo de entrenamiento, per se, y no a la distribución específica de las sesiones de HIT. Más recientemente, Rønnestad y colegas realizaron una serie de estudios en los cuales

compararon HIT con distribución en bloques con HIT distribuidos de manera más uniforme (Rønnestad et al., 2014a, b, 2016). Se observaron mayores mejoras en VO<sub>2</sub>max en ciclistas entrenados después de realizar HIT en bloques (5 sesiones de HIT en la semana 1, 1 sesión de HIT en las semanas 2-4) en comparación con HIT con distribución uniforme (2 sesiones de HIT por semana) (Rønnestad et al. 2014a, b). De manera contraria, cuando se estudió la comparación entre esquiadores de fondo y biatletas de competición, las mejoras en VO<sub>2</sub>max no fueron mayores luego de HIT organizado en bloques en comparación con HIT distribuido uniformemente, pero el grupo que realizó el entrenamiento en bloques presentó una mejora superior en MPO y en la producción de potencia sub máxima que el grupo que realizó el entrenamiento mas uniforme (Rønnestad et al., 2016). El presente estudio tenía como objetivo analizar los posibles mecanismos responsables de los efectos superiores de HIT en bloques comparado con HIT distribuido de manera uniforme, a través del análisis de las respuestas diarias al entrenamiento (a través de mediciones de FC, sRPE, de recuperación y de rendimiento), y del análisis de las adaptaciones periféricas en el músculo mediante la realización de biopsias musculares antes (pre) y después (post) de la invención.

A pesar del estímulo HIT de mayor intensidad aplicado en este estudio en comparación con el estímulo utilizado en los estudios de Rønnestad et al. (2014a, b); Rønnestad et al. (2016), no se observaron diferencias significativas entre BLOCK y EVEN en ninguna de las variables medidas pre versus post entrenamiento (i.e, economía de esquí, VO<sub>2</sub>max, rendimiento en TT, marcadores salivales o de biopsia muscular en reposo). Esto podría deberse a una serie de razones relacionadas con el diseño del estudio. En primer lugar, el presente estudio se realizó al final del temporada de cross-country, mientras que todos los demás estudios fueron realizados durante la pretemporada (Breil et al., 2010; Wahl et al., 2013; Rønnestad et al., 2014a, b, 2016). Debido a que Losnegard et al. (2013) demostraron que los esquiadores realizan más HIT y menos LIT hacia el final de la temporada competitiva, es posible que el momento y estado de entrenamiento de los atletas en el presente estudio hayan afectado la eficacia de la intervención BLOCK. Otro factor podría ser la falta de sesiones de HIT en la semana de entrenamiento final en el grupo BLOCK. Anecdóticamente, los atletas que participaron en el estudio actual informaron sentimientos de letargo como resultado de haber realizado solo LIT en la semana previa a las pruebas de laboratorio. Esto no se observó en el grupo EVEN, en el cual se habían realizado tres sesiones de HIT durante la semana previa a las pruebas. Bosquet et al. (2007) hicieron referencia al mantenimiento de la intensidad del entrenamiento durante una puesta a punto optima por lo que Rønnestad et al. (2014a, b, 2016) teniendo en cuenta esta idea prescribieron por lo menos 1 sesión de HIT por semana durante la recuperación luego de la intervención con bloques. Por lo tanto, el mantenimiento de algunas sesiones de HIT en las semanas siguientes al período de sobrecarga podría ser fundamental para detectar los efectos beneficiosos del entrenamiento con bloques.

Además de investigar diferentes marcadores pre vs post entrenamiento para evaluar la eficacia de BLOCK en comparación con EVEN, un objetivo importante del estudio actual fue examinar las respuestas durante el entrenamiento, para explicar cualquier potencial diferencia entre las dos intervenciones. Era esperable que se recorriera una menor distancia total durante las sesiones de HIT en BLOCK en comparación con EVEN, debido a la menor recuperación entre sesiones y a la posterior acumulación de fatiga. Por ejemplo, se ha observado que la potencia producida por los atletas es menor durante una segunda sesión de HIT realizado el mismo día en comparación con la producida si se realiza un día diferente (Yeo et al., 2008). Sin embargo, inesperadamente en este estudio, la distancia media recorrida durante los intervalos de 5×4-min fue similar entre las dos intervenciones (~ 740m por intervalo). A diferencia de lo observado en el estudio de Yeo et al. (2008), donde se otorgaron 2 h de descanso y se permitió el consumo de agua entre las sesiones, los participantes del estudio actual descansaron durante 4-5 h y consumieron alimentos entre dos sesiones HIT realizadas en el mismo día. Por lo tanto, una mayor recuperación y el consumo de energía podrían haber contribuido a mantener el rendimiento después de realizar la dos sesiones de HIT el mismo día. Alternativamente, la naturaleza del ejercicio de esquí de fondo que exige la participación de todo el cuerpo podría reducir la fatiga local y permitir que se mantengan las intensidades de entrenamiento durante una segunda sesión de entrenamiento en el mismo día. La duración de la recuperación relativamente larga de 6 min entre cada intervalo, que se produjo a consecuencia de la necesidad logística de que los atletas corrieran de regreso por la colina después de cada intervalo, también habría permitido el mantenimiento del trabajo realizado durante las cinco repeticiones. De hecho, se ha demostrado que una recuperación tan corta como de 2min entre las series de HIT de 4 min sería suficiente para mantener el rendimiento en un conjunto de intervalos repetidos, a pesar de que es posible un mayor consumo de oxígeno medio durante los intervalos con un período de recuperación de 2 versus 4 min (Seiler y Hetlelid, 2005).

Similarmente a lo ocurrido con la distancia recorrida, también era esperable que los atletas del estudio actual alcanzaran FC más bajas durante BLOCK en comparación con EVEN, debido a la carga de entrenamiento más concentrada y a la menor recuperación entre las sesiones de HIT. Esta respuesta ha sido previamente observada en ciclistas competitivos durante el ejercicio máximo después de un período de entrenamiento de alta intensidad que consistió predominantemente en entrenamiento HIT (Jeukendrup et al., 1992). Sin embargo, no se observaron diferencias en las puntuaciones totales de FCZ ni en el tiempo transcurrido en cada una de las zonas de FC durante EVEN en comparación con BLOCK. Dado que no se observaron diferencias en el grupo como un todo, se realizaron más análisis para comparar las diferencias en las respuestas entre los varones y las mujeres. Notablemente las mujeres presentaron un puntaje de sFCZ mayor que los varones durante EVEN, y se observó una tendencia no significativa para la misma diferencia durante BLOCK. Esto podría

ser atribuido al hecho de que las mujeres pasaron más tiempo en las zonas 3 y 4 durante las sesiones de LIT, mientras que los varones pasaron más tiempo en las zonas 1 o 2. Aunque sólo especulativo, es posible que algunas de las mujeres hayan realizado un trabajo relativamente más duro durante las sesiones de LIT con el fin de "mantenerse a tono" con otros miembros del grupo de entrenamiento. Dado que los atletas suelen entrenarse con otros de nivel similar, una sesión grupal podría haber presionado a los miembros más débiles (a menudo las mujeres) para trabajar a una mayor intensidad relativa que los miembros más fuertes (a menudo los varones). Además, cualquier ruta de entrenamiento ondulada común, en la cual se utilizan técnicas específicas (y por lo tanto velocidades, en cierta medida) en ciertas pendientes, también conduciría probablemente a mayores intensidades relativas entre las mujeres debido a menores capacidades aeróbicas máximas. Además de las diferencias durante las sesiones de LIT, se observó que los varones también pasaron una cantidad de tiempo significativamente mayor en la zona 2 durante las sesiones HIT BLOCK, mientras que las mujeres presentaron una tendencia a pasar más tiempo en las zonas de mayor FC. Esto indica que los varones tienen una recuperación más rápida de la FC entre intervalos. En general, estos resultados ponen de relieve la necesidad de que los entrenadores monitoreen cuidadosamente las cargas internas (es decir, las respuestas de frecuencia cardíaca) de individuos dentro de un grupo de entrenamiento, especialmente en grupos de ambos sexos, para asegurar que se alcancen los objetivos de entrenamiento especificados.

Se ha informado que las medidas subjetivas son más sensibles y consistentes que las medidas objetivas para el seguimiento de los cambios en el bienestar del atleta, en respuesta al entrenamiento (Saw et al., 2016), por lo que en el presente estudio se utilizaron parámetros como sRPE, pREC y RESTQ-Sport. Un análisis de las semanas por separado permitió establecer claras diferencias en las demandas durante BLOCK y EVEN, con puntuaciones de sRPE significativamente más altas y puntuaciones de pREC significativamente más bajas durante la segunda semana de BLOCK en comparación con las semanas uno y tres, y en comparación con la segunda semana de EVEN. Además, en EVEN se observó una mayor mejora en pREC antes de las sesiones HIT en comparación con lo que ocurrió en BLOCK. Esto indica una mejor preparación para entrenar cuando las sesiones de HIT se distribuyen durante 3 semanas en lugar de condensarse en 1 semana. La carga de entrenamiento extrema prescrita en la segunda semana de BLOCK fue la base para la hipótesis de que el esfuerzo percibido sería mayor y la recuperación percibida sería menor después de BLOCK en comparación con EVEN. Sin embargo, los resultados no arrojaron diferencias en las puntuaciones de sRPE, cargas de entrenamiento de sRPE o puntuaciones promedio de pREC después de las dos intervenciones de 3 semanas. Curiosamente, y en consonancia con los datos de sFCZ, las mujeres presentaron una carga de entrenamiento sRPE significativamente mayor durante EVEN en comparación con los varones, y una tendencia hacia la misma diferencia durante BLOCK. Esto podría deberse a una razón similar a la propuesta anteriormente; es decir, mayores intensidades relativas y más tiempo en zonas de mayor FC podrían haber provocado una mayor percepción de esfuerzo entre las mujeres en comparación con los varones.

Estudios previos que investigaron los efectos de períodos de entrenamiento de alta intensidad entre atletas de resistencia observaron reducciones a corto plazo en la recuperación y el bienestar, así como aumentos en los niveles de alteración del estado de ánimo y de los niveles de estrés (Jeukendrup et al., 1992, Jürimäe et al. al., 2004, Coutts et al., 2007). Dado que un exceso de estrés puede resultar en una disminución del rendimiento a largo plazo que se manifiesta como sobreentrenamiento, o OR no funcional (Meeusen et al., 2013), en el presente estudio existe un riesgo potencial para atletas jóvenes que realizan tantas sesiones de HIT en una misma semana. Por lo tanto, el cuestionario RESTQ-Sport, que ha sido identificado como una herramienta útil para monitorear el estrés percibido y la recuperación entre atletas (Saw et al., 2016), se administró semanalmente (en contraste con la escala pREC que se focaliza en la sesión). A pesar de la diferencia significativa observada durante la semana dos, el estado general de recuperación frente al estrés no fue diferente después de BLOCK en comparación con EVEN. Una restauración rápida del estado de recuperación del estrés coincide con resultados previos que han demostrado que el estado de ánimo global se recupera hasta los niveles iniciales en un lapso de 4-6 días de entrenamiento fácil (Halson et al., 2002). Por lo tanto, parece que el OR no funcional podría evitarse limitando la duración del período de entrenamiento de alta intensidad y permitiendo una recuperación adecuada después. Un hallazgo interesante e inesperado en el estudio actual fue que las mujeres demostraron niveles de recuperación frente al estrés más bajos que los varones, y las mayores diferencias se observaron después de la segunda semana de BLOCK. Por lo tanto, este estudio aporta datos novedosos que sugieren que las mujeres atletas son más vulnerables que los hombres a los factores de estrés asociados con el HIT con bloques dentro de un microciclo polarizado, tal vez debido a la mayor carga de trabajo interna durante las sesiones de entrenamiento.

El presente estudio es el primero en haber comparado exhaustivamente las respuestas frente (y los efectos de) a dos modelos de entrenamiento polarizado que solo se diferenciaban por la distribución de las sesiones de entrenamiento. Debido a las altas tasas de adherencia (90-100% de sesiones completadas por todos los individuos en HIT y LIT), los resultados pueden ser considerados una representación verdadera de las intervenciones prescritas. Los resultados permitieron observar las distintas demandas que se plantearon a los atletas durante las tres semanas diferentes de EVEN y BLOCK, que quedaron demostradas por las significativas diferencias semanales en el tiempo destinado a LIT y HIT, los puntajes del esfuerzo percibido, las puntuaciones de recuperación y los niveles de recuperación frente al estrés. A pesar de ello, las respuestas generales durante las dos intervenciones fueron típicamente similares en lo que respecta a rendimiento y a los parámetros subjetivos (es decir, la distancia recorrida durante el HIT, las puntuaciones de esfuerzo percibido, la

recuperación percibida y los niveles de recuperación frente al estrés en cada sesión). Además, no se observaron diferencias entre EVEN y BLOCK en los cambios que se produjeron en las determinaciones Pre versus Post intervención. Algunas limitaciones del presente estudio pueden estar relacionadas con el diseño experimental, específicamente la con la ausencia de sesiones de HIT después de la semana de entrenamiento de alta intensidad, la duración relativamente corta entre la semana de entrenamiento de alta intensidad y las pruebas de laboratorio de seguimiento, el corto período de tiempo (3 semanas) sobre el cual se prescribieron las intervenciones y/o la duración de la recuperación relativamente larga (6 min) entre los intervalos de HIT de 4 min. Sin embargo, un aspecto novedoso del estudio fue la comparación entre varones y mujeres, lo que reveló algunos problemas prácticos reales para los entrenadores, ya que las mujeres típicamente demostraron respuestas más altas de FC, mayores puntuaciones de sRPE y de estrés, y un menor nivel de recuperación frente al estrés que los varones. A la luz de estas diferencias específicas, las investigaciones futuras pueden orientarse hacia la investigación de cómo influyen en las mujeres las mayores cargas de entrenamiento internas, el esfuerzo percibido y los estados subjetivos de recuperación frente al estrés, y como esto se refleja en adaptaciones al entrenamiento a largo plazo y en la posibilidad de sufrir OR o sobre entrenamiento. En conclusión, el estudio actual demostró que esquiadores de fondo junior bien entrenados son capaces de realizar 9 sesiones de HIT en una semana sin afectar el trabajo total realizado ni experimentar un mayor estrés o una menor recuperación en comparación con realizar 3 sesiones de HIT por semana durante 3 semanas. Sin embargo, para esquiadores de fondo bien entrenados no podemos afirmar que una corta intervención de HIT distribuido en bloques pueda ser superior al HIT distribuido de forma uniforme.

### Declaración de ética

Este estudio se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones de la Junta Regional de Revisión Ética (Umeå Suecia) y contó con el consentimiento informado por escrito de todas las personas (y el consentimiento informado de los padres de los sujetos menores de 18 años). Todos los sujetos dieron su consentimiento informado por escrito tal como lo establece la Declaración de Helsinki. El protocolo fue aprobado por la Junta de Revisión Ética Regional, Umeå University, Umeå Suecia.

### Contribuciones de los autores

KM, EJ y HH hicieron contribuciones sustanciales a la concepción y diseño del trabajo, mientras que KM, EJ, ZK, KS, EB, OH y HH hicieron contribuciones sustanciales en la adquisición, análisis e interpretación de datos del trabajo. Todos los autores (KM, EJ, ZK, KS, EB, OH y HH) participaron en la redacción y revisión crítica del manuscrito, así como en la aprobación final de la versión a publicar y son responsables de todos los aspectos vinculados al estudio.

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Hannah Wishart por su participación en el proceso de recolección de datos, al profesor Bengt Saltin por su contribución con los procedimientos de muestreo muscular, a Bengt Stattin por su entusiasmo y cooperación constante, a los entrenadores que asistieron durante todo el proyecto y a los atletas por su participación en el estudio.

## REFERENCIAS

1. Alp, P. R., Newsholme, E. A., and Zammit, V. A. (1976). Activities of citrate synthase and NAD<sup>+</sup>-linked and NADP<sup>+</sup>-linked isocitrate dehydrogenase in muscle from vertebrates and invertebrates. *Biochem. J.* 154, 689-700.
2. Andersen, P. (1975). Capillary density in skeletal muscle of man. *Acta Physiol. Scand.* 95, 203-205. doi: 10.1111/j.1748-1716.1975.tb10043.x
3. Andrzejewski, W., Kassolik, K., Kobierzycki, C., Grzegorzolka, J., Ratajczak-Wielgomas, K., Jablonska, K., et al. (2015). Increased skeletal muscle expression of VEGF induced by massage and exercise. *Folia Histochem. Cytobiol.* 53, 145-151. doi: 10.5603/FHC.a2015.0013
4. Beaven, C. M., Gill, N. D., and Cook, C. J. (2008). Salivary testosterone and cortisol responses in professional rugby players after four resistance exercise protocols. *J. Strength Cond. Res.* 22, 426-432. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181635843
5. Bergström, J. (1962). Muscle electrolytes in man determined by neutron activation analysis on needle biopsy specimens. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 14(Suppl.), 68.
6. Billat, L. V. (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. doi: 10.2165/00007256-200131010-00002
7. Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14, 377-381.
8. Bosquet, L., Montpetit, J., Arvisais, D., and Mujika, I. (2007). Effects of tapering on performance: a meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39, 1358-1365. doi: 10.1249/mss.0b013e31806010e0
9. Breil, F., Weber, S., Koller, S., Hoppeler, H., and Vogt, M. (2010). Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on VO<sub>2</sub>max and performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 109, 1077-1086. doi: 10.1007/s00421-010-1455-1



10. Brooke, M. H., and Kaiser, K. K. (1969). Some comments on the histochemical characterization of muscle adenosine triphosphatase. *J. Histochem. Cytochem.* 17, 431-432.
11. Buchheit, M., and Laursen, P. B. (2013a). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med.* 43, 313-338. doi: 10.1007/s40279-013-0029-x
12. Buchheit, M., and Laursen, P. B. (2013b). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med.* 43, 927-954. doi: 10.1007/s40279-013-0066-5
13. Coutts, A. J., Slattery, K. M., and Wallace, L. K. (2007). Practical tests for monitoring performance, fatigue and recovery in triathletes. *J. Sci. Med. Sport* 10, 372-381. doi: 10.1016/j.jsams.2007.02.007
14. Edwards, S. (1993). The Heart Rate Monitor Book. Sacramento, CA: Fleet Feet Press.
15. Essén, B., Jansson, E., Henriksson, J., Taylor, A. W., and Saltin, B. (1975). Metabolic characteristics of fibre types in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.* 95, 153-165. doi: 10.1111/j.1748-1716.1975.tb10038.x
16. Esteve-Lanao, J., Foster, C., Seiler, S., and Lucia, A. (2007). Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J. Strength Cond. Res.* 21, 943-949. doi: 10.1519/R-19725.1
17. Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., et al. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *J. Strength Cond. Res.* 15, 109-115.
18. García-Pallarés, J., García-Fernández, M., Sánchez-Medina, L., and Izquierdo, M. (2010). Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *Eur. J. Appl. Physiol.* 110, 99-107. doi: 10.1007/s00421-010-1484-9
19. Gunnarsson, T. P., Christensen, P. M., Thomassen, M., Nielsen, L. R., and Bangsbo, J. (2013). Effect of intensified training on muscle ion kinetics, fatigue development, and repeated short-term performance in endurance-trained cyclists. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 305, R811-R821. doi: 10.1152/ajpregu.00467.2012
20. Halson, S. L., Bridge, M. W., Meeusen, R., Busschaert, B., Gleeson, M., Jones, D. A., et al. (2002). Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J. Appl. Physiol.* 93, 947-956. doi: 10.1152/jappphysiol.01164.2001
21. Hennessey, J. V., Chromiak, J. A., Della Ventura, S., Guertin, J., and MacLean, D. B. (1997). Increase in percutaneous muscle biopsy yield with a suction-enhancement technique. *J. Appl. Physiol.* 82, 1739-1742.
22. Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., and Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41, 3-13. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181818cb278
23. Iaia, F. M., Hellsten, Y., Nielsen, J. J., Fernstrom, M., Sahlin, K., and Bangsbo, J. (2009). Four weeks of speed endurance training reduces energy expenditure during exercise and maintains muscle oxidative capacity. *Frontiers in Physiology* | [www.frontiersin.org](http://www.frontiersin.org)
24. Block Distributed High-Intensity Interval Training despite a reduction in training volume. (2008). *J. Appl. Physiol.* 106, 73-80. doi: 10.1152/jappphysiol.90676.2008
25. Issurin, V. (2008). Block periodization versus traditional training theory: a review. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 48, 65-75.
26. Issurin, V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med.* 40, 189-206. doi: 10.2165/11319770-000000000-00000
27. Jeukendrup, A. E., Hesselink, M. K., Snyder, A. C., Kuipers, H., and Keizer, H. A. (1992). Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *Int. J. Sports Med.* 13, 534-541. doi: 10.1055/s-2007-1021312
28. Jürimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., and Jürimäe, T. (2004). Changes in stress and recovery after heavy training in rowers. *J. Sci. Med. Sport* 7, 335-339. doi: 10.1016/s1440-2440(04)80028-8
29. Kazior, Z., Willis, S. J., Moberg, M., Apro, W., Calbet, J. A., Holmberg, H. C., et al. (2016). Endurance exercise enhances the effect of strength training on muscle fiber size and protein expression of Akt and mTOR. *PLoS ONE* 11:e0149082. doi: 10.1371/journal.pone.0149082
30. Kellmann, M., and Kallus, K. W. (2001). Recovery-Stress Questionnaire for Athletes: User Manual. Champaign, IL: Human Kinetics.
31. Kiely, J. (2012). Periodization paradigms in the 21st century: evidence-led or tradition-driven? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 7, 242-250. doi: 10.1123/ijspp.7.3.242
32. Laurent, C. M., Green, J. M., Bishop, P. A., Sjökvist, J., Schumacker, R. E., Richardson, M. T., et al. (2011). A practical approach to monitoring recovery: development of a perceived recovery status scale. *J. Strength Cond. Res.* 25, 620-628. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c69ec6
33. Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand. J. Med. Sci. Sports* 20, 1-10. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x
34. Laursen, P. B., Shing, C. M., Peake, J. M., Coombes, J. S., and Jenkins, D. G. (2002). Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34, 1801-1807. doi: 10.1249/01.MSS.0000036691.95035.7D
35. Losnegard, T., Myklebust, H., Spencer, M., and Hallén, J. (2013). Seasonal variations in VO<sub>2</sub>max, O<sub>2</sub>-cost, O<sub>2</sub>-deficit and performance in elite cross-country skiers. *J. Strength Cond. Res.* 27, 1780-1790. doi: 10.1519/JSC.0b013e31827368f6
36. Mann, T. N., Lamberts, R. P., and Lambert, M. I. (2014). High responders and low responders: factors associated with individual variation in response to standardized training. *Sports Med.* 44, 1113-1124. doi: 10.1007/s40279-014-0197-3
37. McGawley, K., and Holmberg, H. C. (2014). Aerobic and anaerobic contributions to energy production among junior male and female cross-country skiers during diagonal skiing. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 9, 32-40. doi: 10.1123/ijspp.2013-0239
38. Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., et al. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med. Sci. Sports Exerc.* 45, 186-205. doi: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a
39. Midgley, A. W., McNaughton, L. R., and 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. doi: 10.2165/00007256-200636020-00003
40. Neal, C. M., Hunter, A. M., Brennan, L., O'Sullivan, A., Hamilton, D. L., De Vito, G., et al. (2012). Six weeks of a polarised training

- intensity distribution leads to greater physiological and performance adaptations than a threshold model in trained cyclists. *J. Appl. Physiol.* 114, 461-471. doi: 10.1152/jappphysiol.00652.2012
41. Opie, L. H., and Newsholme, E. A. (1967). The activities of fructose 1,6-diphosphatase, phosphofructokinase and phosphoenolpyruvate carboxykinase in white muscle and red muscle. *Biochem. J.* 103, 391-399.
  42. Rønnestad, B. R., Ellefsen, S., Nygaard, H., Zacharoff, E. E., Vikmoen, O., Hansen, J., et al. (2014a). Effects of 12 weeks of block periodization on performance and performance indices in well-trained cyclists. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 24, 327-335. doi: 10.1111/sms.12016
  43. Rønnestad, B. R., Hansen, J., and Ellefsen, S. (2014b). Block periodization of high-intensity aerobic intervals provides superior training effects in trained cyclists. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 24, 34-42. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01485.x
  44. Rønnestad, B. R., Hansen, J., Thyli, V., Bakken, T. A., and Sandbakk, O. (2016). 5-week block periodization increases aerobic power in elite cross-country skiers. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 26, 140-146. doi: 10.1111/sms.12418
  45. Ruas, J. L., White, J. P., Rao, R. R., Kleiner, S., Brannan, K. T., Harrison, B. C., et al. (2012). A PGC-1 $\alpha$  isoform induced by resistance training regulates skeletal muscle hypertrophy. *Cell* 151, 1319-1331. doi: 10.1016/j.cell.2012.10.050
  46. Sandbakk, Ø., and Holmberg, H. C. (2014). A reappraisal of success factors for Olympic cross-country skiing. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 9, 117-121. doi: 10.1123/ijssp.2013-0373
  47. Saw, A. E., Main, L. C., and Gastin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *Br. J. Sports Med.* 50, 281-291. doi: 10.1136/bjsports-2015-094758
  48. Seiler, K. S., and Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? *Scand. J. Med. Sci. Sports* 16, 49-56. doi: 10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x
  49. Seiler, S., and Hetlelid, K. J. (2005). The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37, 1601-1607. doi: 10.1249/01.mss.0000177560.18014.d8
  50. Sperlich, B., Achtzehn, S., Buhr, M., Zinner, C., Zelle, S., and Holmberg, H. C. (2012). Salivary cortisol, heart rate, and blood lactate responses during elite downhill mountain bike racing. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 7, 47-52. doi: 10.1123/ijssp.7.1.47
  51. Stöggli, T., and Sperlich, B. (2014). Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front. Physiol.* 5:33. doi: 10.3389/fphys.2014.00033
  52. Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., and Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Med.* 35, 501-536. doi: 10.2165/00007256-200535060-00004
  53. Støren, Ø., Sanda, S. B., Haave, M., and Helgerud, J. (2012). Improved VO<sub>2</sub>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.* 26, 2705-2711. doi: 10.1519/JSC.0b013e318241deec
  54. Swarén, M., Supej, M., Eriksson, A., and Holmberg, H. C. (2013). "Treadmill simulation of Olympic cross-country ski tracks," in *Science and Nordic Skiing II*, eds A. Hakkarainen, V. Linnamo, and S. Lindinger (London: E & FN Spon), 237-242.
  55. Wahl, P., Guldner, M., and Mester, J. (2014). Effects and sustainability of a 13-day high-intensity shock microcycle in soccer. *J. Sports Sci. Med.* 13, 259-265.
  56. Wahl, P., Zinner, C., Grosskopf, C., Rossmann, R., Bloch, W., and Mester, J. (2013). Passive recovery is superior to active recovery during a high intensity shock microcycle. *J. Strength Cond. Res.* 27, 1384-1393. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182653cfa
  57. Yeo, W. K., Paton, C. D., Garnham, A. P., Burke, L. M., Carey, A. L., and Hawley, J. A. (2008). Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens. *J. Appl. Physiol.* 105, 1462-1470. doi: 10.1152/jappphysiol.90882.2008

## Cita Original

McGawiey K., Juudas E., KaziorZ., Strórn K., Blornstrand E., Hansson O. and Holrnberg H.-C. (2017). No Additional Benefits of Block- Over Evenly-Distributed High-Intensity Interval Training within a Polarized Microcycle. *Front. Physiol.* 8:413. doi: 10.3389/fphys.2017.00413